

排出ガス中の二酸化炭素によるアルカリ水の中和実験

東洋建設（株）
東洋建設（株）
東洋建設（株）
（公財）愛知臨海環境整備センター

正会員　○納庄　一希
正会員　山崎　智弘
正会員　福田　慶吾
非会員　渡辺　研

1. はじめに

管理型海面処分場は、廃棄物の埋立進捗に伴い、保有水の pH が上昇し、アルカリ化する場合がある。埋立終了後に処分場を廃止するためには、浸出水の pH が 9.0 以下となる必要があり、このことが多くの処分場において課題となっている。本稿ではアルカリ化した保有水に排出ガス中の二酸化炭素（CO₂）を利用して中和する工法を想定した曝気実験を行い、効率的となる要素について考察した。

2. 実験方法

実験は実処分場の保有水を対象とし、水槽（長さ 116×幅 97.5×高さ 78 cm）に貯水した。排出ガスは可搬式の発電機（新ダイワ工業㈱製、EGR2400、写真-1）から回収した。発電機の排気口をアルミ箔で覆い、ダクトホースと水道ホースをロートにより接続し、樹脂製のコンテナボックス（長さ 36.8×幅 34.3×高さ 27 cm）に導入した。コンテナボックスにはブロウポンプ（㈱寺田ポンプ製作所製、TY-30、風量 30 L/min あるいは大晃機械工業㈱製、TIP-60、風量 60 L/min）を設置し、吐出口に散気管（あおみどり㈱製、ユニークパイプ 26C、20～40 L/min/m、長さ約 50 cm×4 本、写真-2）を取り付け、水槽の底部から排出ガスを曝気した。水槽内には水質計（佐藤商事㈱製、WAC-2019SD、センサー：PE-21、OXPB-11）を設置し、pH と水温の経時変化を記録した。また大気圧計（佐藤商事㈱製、MHB-382SD）で大気圧を、CO₂ 計（佐藤商事㈱、MCH-383SDJ）で大気中の CO₂ 濃度を計測した。コンテナに吸引した排出ガス中の CO₂ 濃度は、CO₂ 濃度計（VAISALA 製、高濃度測定セット、測定範囲 0～20 %、動作温度範囲-40～60℃、CO₂ プローブ：GMP251）をコンテナ側面に空けたセンサー径孔に差し込み計測した。CO₂ 濃度計の測定頻度は 30 秒間隔とした。

実験条件を表-1 に示す。ケース 1 を基準ケースとし、ケース 2 では曝気槽の覆い（上蓋）を外し、水中から気中に放出された CO₂ の再溶解の有無の影響を比較した。またケース 3 では同じ発電機からの排出ガスを吸引するポンプ能力を 2 倍にして曝気流量が増加した場合との比較を、ケース 4 ではアルカリ水量を 2 倍（水深を約 2 倍）とした場合に、気泡浮上中に溶解する量の増加割合を比較検証した。実験状況を写真-3 に示す。なお、ケース 2 は pH 10.0 を下回った時点で終了し、ケース 3 は途中燃料切れが生じた。

表-1 実験条件

ケース	1	2	3	4
CO ₂ 濃度 (%)	実測値			
上蓋	有	無	有	
流量 (L/min)	30		60	30
水量 (L)	400			800
水深 (cm)	40			71



写真-1 排出ガスの回収構造



写真-2 散気管の構造

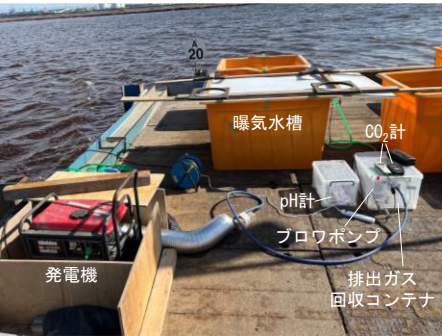


写真-3 実験状況（ケース 1）

キーワード 管理型海面処分場、保有水、排出ガス、CO₂、中和
連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1 丁目 25 番 1 号
東洋建設株式会社 鳴尾研究所 TEL0798-43-5903

3. 実験結果

水槽内の pH とコンテナ内の CO₂ 濃度の計測結果を図-1 に示す。保有水の初期 pH は 11.2 ～ 11.4 であり、曝気に用いた CO₂ 濃度は発電機の負荷状態や水道ホース内に溜まった凝縮水の影響を受けて変動したものの概ね 1.0 ～ 2.5 % であった。pH 11.0 から 10.5 への低下時間は、基準ケース 1 の 12 分間に対し、ケース 2 は 14 分間と 2 分増加した。ケース 3 はケース 1 と同時間の 12 分間だった。ケース 4 は 22 分間であり、ケース 1 より 10 分間増加した。

ケース 4 における pH 11.0 から 10.0 への低下時間は 37 分であったのに対し、pH 10.0 から 9.0 への低下時間は 71 分間と約 2 倍となった。

4. 考察

以下に pH 11.0 から 10.5 への低下時間について比較する。ケース 1（蓋有、CO₂ 濃度約 1.5 ～ 2%）は、ケース 2（蓋無、CO₂ 濃度約 1.5 %）より短時間となったことから、水面上方を蓋で覆ったことにより、水面から気中に放出された CO₂ が水中に再溶解し、アルカリ水の中和効率が上昇したと考えられた。ここに蓋の設置は CO₂ 濃度を大きくすることより効果がある可能性が示唆された。ケース 1（曝気量 30 L/min）と比較してケース 3（曝気量はケース 1 の 2 倍）では、低下時間は 2 分の 1 とはならなかった。これは曝気量を増加させても単位水量、単位水深での曝気において反応可能な CO₂ 量は一定量であり、過大に曝気した場合、気中へ放出量が多くなり非効率となる可能性が示唆された。ケース 1（水量 400 L、水深 40 cm）と比較してケース 4（水量はケース 1 の 2 倍、水深 71 cm）では低下時間が長時間となったが、その時間は 2 倍以内であった。水深を大きくすることで、曝気した気泡が水面に浮上するまでの時間が増え、反応効率が増大したと考えられた。

次に pH が 11.0 から 10.0 への低下時間が、10.0 を 9.0 にする時間より短時間であったことから、よりアルカリ化した保有水への CO₂ の溶解と反応が効率的であることが示唆された。「曝気時間帯に供給した CO₂ 量（濃度 × 時間）」と「pH 低減により消費された CO₂ 量」から CO₂ の消費率および損失率を算定した結果を表-2 に示す。pH 11.0 から 10.5 にかけての消費率はケース 1 が最も高かった。ケース 1 の CO₂ 濃度は 1.5 ～ 2.0 % であり、ケース 4 の 2.0 ～ 2.3 % より低い。一方でケース 3 の CO₂ 濃度は 1.0 % とさらに低く、それでも消費率は比較的高い。したがって、本条件下では CO₂ 濃度をあえて高濃度とする必要がなく、CO₂ 濃度 2 % 未満でも 50 % 近く of 反応が生じることが確認できた。蓋無しのケース 2 においても pH 11.0 から 10.5 にかけての CO₂ 濃度は 1.5 % 程度であり、過剰に供給されていないため消費率が比較的大きかったと考えられる。

5. おわりに

本実験では pH 11.2 ～ 11.4 の保有水を対象に、発電機の排出ガスによる中和実験を実施した。各ケースで曝気した CO₂ 濃度や水温などが同一条件ではなかったものの、同じ吐出量で曝気する場合、高アルカリ水を対象に、曝気水深を大きくし、水面には蓋を設置し、過大でない適切な CO₂ 濃度とすることで中和及び CO₂ 固定の効率化が図れることが示唆された。ここに散気管の仕様によっても効果は異なることを付記しておく。

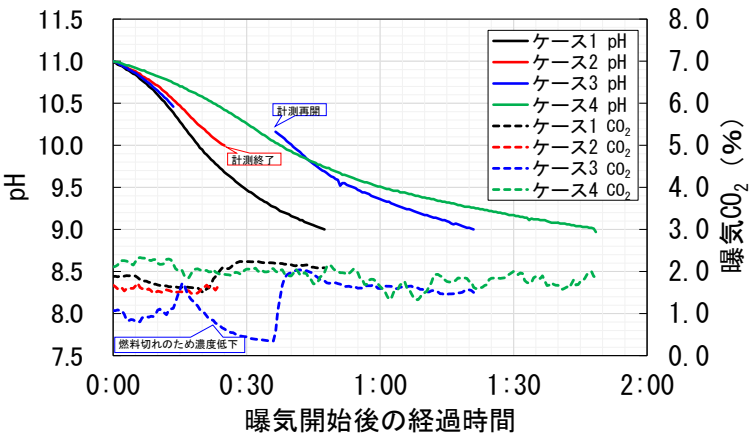


図-1 計測結果

表-2 CO₂ の消費率と損失率

ケース	1	2	3	4
水量(L)	400			800
水深(cm)	40			71
曝気量(L/min)	30		60	30
蓋	あり	なし	あり	
	CO ₂ 消費量 (mol/L)	CO ₂ 供給量 (mol/L)		
pH11.0→10.5	3.419E-04	7.217E-04	7.625E-04	8.377E-04
pH10.5→10.0	1.081E-04	3.813E-04	4.981E-04	1.640E-03
pH10.0→9.5	3.419E-05	6.843E-04	-	1.712E-03
pH9.5→9.0	1.081E-05	1.309E-03	-	2.851E-03
消費率				
pH11.0→10.5		47.4%	44.8%	40.8%
pH10.5→10.0		28.4%	21.7%	6.6%
pH10.0→9.5		5.0%		2.0%
pH9.5→9.0		0.8%		0.4%
損失率				
pH11.0→10.5		52.6%	55.2%	59.2%
pH10.5→10.0		71.6%	78.3%	93.4%
pH10.0→9.5		95.0%		98.0%
pH9.5→9.0		99.2%		99.6%